

*Е.П. ИВАНИЦКАЯ*, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ», г. Харьков

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ЦИЛИНДРОМ

Показано, що все різноманіття гідрравлічних дросельних приводів з горизонтальним гідрравлічним циліндром можна звести до восьми гідрравлічних модулів залежно від напрямку руху поршня, наявності чи відсутності дроселя (або регулятора витрати), і розташування його у напірній чи зливальній магістралях. Приведені математичні моделі восьми основних типів гідрравлічних модулів з горизонтальним гідрравлічним циліндром.

It is shown, that all variety of hydraulic actuators with the horizontal hydraulic cylinder can be instanced to eight hydraulic indexes depending on a traffic route of the piston, presence or absence of the butterfly governor (flow regulator) and its arrangement in pressure or drain highways. Mathematical models of eight basic types of hydraulic indexes with the horizontal hydraulic cylinder are instanced.

**Введение.** Велико многообразие гидрофицированных машин, которые применяются для реализации различных технологических процессов. Можно считать, что каждая такая машина имеет уникальный гидравлический привод. Поэтому вопрос типизации и моделирования гидравлических приводов является актуальным.

**Цель статьи.** Целью данной работы является вопрос типизации и моделирования работы гидравлических приводов с горизонтальным гидравлическим цилиндром (ГЦ).

**Понятие гидравлического блока (модуля).** Во всем многообразии гидравлических приводов можно выделить общее, присущее всем без исключения гидравлическим системам.

Общим для гидравлических систем является то, что они представляют собой набор гидравлических машин (насосов и гидравлических двигателей) и гидравлической аппаратуры.

Гидравлическая аппаратура это: 1) гидравлические аппараты: распределители, дроссели, клапаны; 2) аккумуляторы; 3) кондиционеры рабочего тела: фильтры, теплообменники, баки; 4) гидравлические линии: трубопроводы и соединительная арматура; 5) устройства для контроля давления: реле давления и манометры.

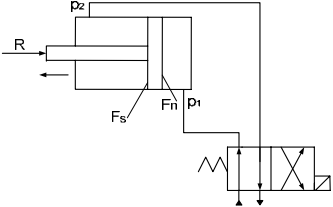
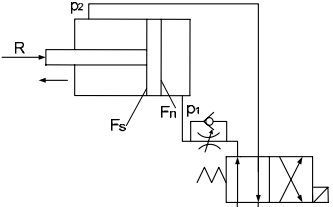
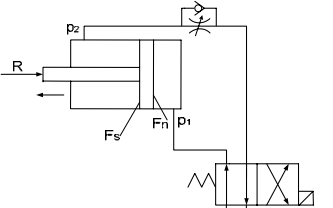
Уникальность каждого гидравлического привода определяется тем, какие гидравлические устройства, в каком количестве и в какой последовательности в нем применяются.

Будем считать, что любую гидравлическую схему можно представить в виде гидравлического блока (модуля), который состоит из ГЦ, на штоке которого приложена нагрузка  $R$ , направленная в противоположную сторону относительно движения штока и поршня; гидравлического распределителя (в общем случае двухпозиционного четырех линейного); дросселя с обратным

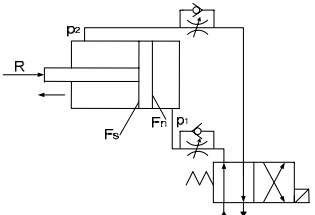
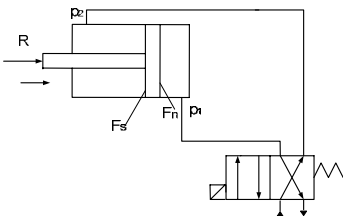
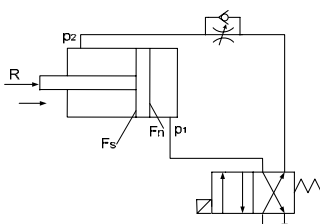
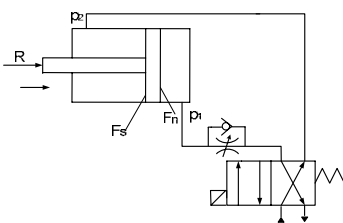
клапаном; напорной магистрали, соединенной с насосом; сливной магистрали, соединенной с баком (см. блок (модуль) № 1-8 табл.1,2 ). [1, 2]

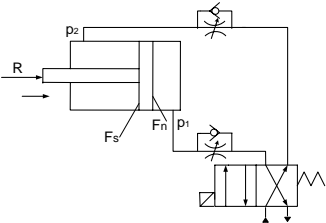
Таблица 1.

Гидравлические модули с горизонтальным гидравлическим цилиндром.

№ мо ду ля	Гидравлическая схема модуля	Направле- ние движе- ния поршня		Дроссель установлен в магистрали		
		выд- виже- ние	втя- гива ние	на- пор ной	сли- вной	отсут- ствует
1		+	-	-	-	+
2		+	-	+	-	-
3		+	-	-	+	-

Продолжение таблицы 1

4		+	-	+	+	-
5		-	+	-	-	+
6		-	+	+	-	-
7		-	+	-	+	-

8		—	+	+	+	—
---	---	---	---	---	---	---

### Типизация гидравлических приводов с горизонтальным ГЦ.

Используя понятие гидравлического блока (модуля), все имеющиеся гидравлические схемы с горизонтальным ГЦ целесообразно свести к восьми гидравлическим модулям. Первые четыре модуля осуществляют выдвижение штока ГЦ. При этом распределитель находится в левой рабочей позиции (см. блок (модуль) № 1-4 табл.1,2). Гидравлические модули с пятого по восьмой осуществляют втягивание штока ГЦ. Распределитель при этом находится в правой рабочей позиции (см. блок (модуль) № 4-8 табл.1,2).

Гидравлический модуль с горизонтальным ГЦ №1: Шток выдвигается. Дроссели отсутствуют;

Гидравлический модуль с горизонтальным ГЦ №2: Шток выдвигается. Дроссель установлен в напорной магистрали;

Гидравлический модуль с горизонтальным ГЦ №3: Шток выдвигается. Дроссель установлен в сливной магистрали;

Гидравлический модуль с горизонтальным ГЦ №4: Шток выдвигается. Дроссели установлены в напорной и сливной магистралях;

Гидравлический модуль с горизонтальным ГЦ №5: Шток втягивается. Дроссели отсутствуют;

Гидравлический модуль с горизонтальным ГЦ №6: Шток втягивается. Дроссель установлен в напорной магистрали;

Гидравлический модуль с горизонтальным ГЦ №7: Шток втягивается. Дроссель установлен в сливной магистрали;

Гидравлический модуль с горизонтальным ГЦ №8: Шток втягивается. Дроссели установлены в напорной и сливной магистралях.

**Основные типы уравнений, описывающие работу гидравлического привода [3].** При построении математических моделей, будем использовать следующие допущения: отсутствуют утечки рабочей жидкости (РЖ); сухое трение равно нулю; волновые процессы в трубопроводах отсутствуют; температура РЖ постоянна (т.е. постоянными считаем коэффициенты кинематической вязкости и силы трения); потери на трение в магистралях и обратном клапане, золотнике и другой аппаратуре не учитываются; давление в сливной магистрали равно нулю; радиальный зазор между втулкой и золотником в золотниковых распределителях принимаем равным нулю;

рабочие кромки считаем острыми; принимаем, что соединительные каналы велики по сечению и коротки по длине; постоянным принимаем модуль упругости РЖ.

1. Уравнение неразрывности. Уравнение неразрывности выражает закон сохранения массы движущейся жидкости. Для двух поперечных сечений одного и того же потока идеальной жидкости уравнение неразрывности можно записать в виде:

$$Q_1 = Q_2 \quad \text{или} \quad V_1 S_1 = V_2 S_2, \quad (1)$$

где  $Q_1, Q_2, V_1, V_2, S_1, S_2$  - расходы, скорости и площади поперечных сечений 1-1 и 2-2.

Оно показывает, что в любом сечении потока при установившемся движении несжимаемой РЖ расход ее постоянен. Так, например, для гидравлической системы с дроссельным способом регулирования скорости (модуль 3 табл.2) при левой рабочей позиции распределителя уравнение неразрывности имеет вид:

$$Q_n = Q_{p1} = Q_{ц1}; \quad Q_{ц2} = Q_{op} = Q_{p2} = Q_{\delta}, \quad (2)$$

где  $Q_n$  - расход насоса;  $Q_{p1}, Q_{p2}$  - расход через распределитель;  $Q_{ц1}$  - расход поршневой полости ГЦ;  $Q_{ц2}$  - расход штоковой полости ГЦ;  $Q_{op}$  - расход через дроссель;  $Q_{\delta}$  - расход, поступающий из ГЦ через распределитель в бак.

2. Уравнение движения подвижных элементов. Это уравнение составляют на основании основного закона динамики - второго закона Ньютона: в инерционных системах отсчета ускорение материальной точки (тела) прямо пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе материальной точки (тела).

Уравнение динамики исполнительного органа гидравлического привода, описывающее движение поршня как твердого тела, в соответствии с законами механики, а именно на основе принципа Даламбера (согласно которому сила инерции равна разности активных сил и сил сопротивления), запишем в виде:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 F_n - (p_2 F_s + R + R_t), \quad (3)$$

где  $m$  - приведенная к поршню масса подвижных частей и РЖ;  $p_1, p_2$  - давление в полостях гидроцилиндра;  $F_n, F_s$  - эффективные площади поршня в поршневой и штоковой полостях ГЦ;  $R$  - нагрузка;  $R_t$  - силы трения;  $x$  - перемещение поршня.

При установившемся движении или состоянии покоя подвижного элемента уравнение (3) преобразуется в уравнение баланса сил, действующих на подвижный элемент (уравнение равновесия сил):

$$p_1 F_n = (p_2 F_s + R + R_t). \quad (4)$$

3. Уравнение расходов РЖ через аппаратуру. Для ГЦ без учета сжимаемости РЖ, уравнение расхода имеет вид:

$$Q_{ц1} = F_n V ; \quad Q_{ц2} = F_s V , \quad (5)$$

где  $V$  - скорости поршня.

Для гидравлической аппаратуры, в которой происходит дросселирование РЖ (дроссели, распределители), уравнение расхода имеет вид:

$$Q_{др} = \mu f d \sqrt{2\Delta p / \rho} , \quad Q_p = \mu \pi dz xz \sqrt{2\Delta p / \rho} , \quad (6)$$

где  $Q_{др}$ ,  $Q_p$  - расход через дроссель, распределитель;  $\mu$  - коэффициент расхода;  $f d$  - площадь проходного сечения дросселя;  $\Delta p$  - перепад давления на щели гидроаппаратуры;  $\rho$  - плотность РЖ;  $dz$  - диаметр золотника распределителя;  $xz$  - величина открытия окна распределителя.

**Математические модели гидравлических модулей с вертикальным гидравлическим цилиндром.** Ниже (см. табл.2) приводятся математические модели гидравлических модулей (блоков) с горизонтальным гидравлическим цилиндром, которые составлены на основании рассмотренных выше уравнений неразрывности, движения подвижных элементов и уравнений расхода через гидравлическую аппаратуру.

Таблица 2.

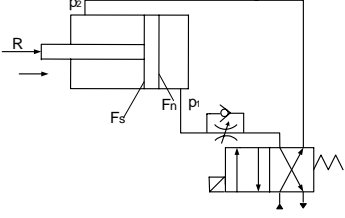
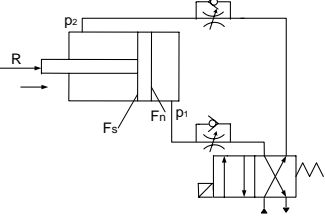
Математические модели гидравлических модулей с горизонтальным гидравлическим цилиндром.

№	Гидравлическая схема модуля	Математическая модель модуля
1		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (p_1 F_n - p_2 F_s - R - Rt); \\ \frac{dp_1}{dt} = (\mu \pi dz xz \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_1) - VF_n}) \frac{E}{W_{01} + F_n y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left( -\mu \pi dz xz \sqrt{\frac{2}{\rho} p_2 + VF_s} \right) \frac{E}{W_{02} - F_s y}. \end{cases}$
2		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (p_1 F_n - p_2 F_s - R - Rt); \\ \frac{dp_1}{dt} = (\mu f d \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_1) - VF_n}) \frac{E}{W_{01} + F_n y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left( -\mu \pi dz xz \sqrt{\frac{2}{\rho} p_2 + VF_s} \right) \frac{E}{W_{02} - F_s y}. \end{cases}$

Продолжение таблицы 2

3		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (p_1 F_n - p_2 F_s - R - Rt); \\ \frac{dp_1}{dt} = (\mu \pi d z x z \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_1) - V F_n}) \frac{E}{W_{01} + F_n y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left( -\mu f d \sqrt{\frac{2}{\rho} p_2 + V F_s} \right) \frac{E}{W_{02} - F_s y}. \end{cases}$
4		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (p_1 F_n - p_2 F_s - R - Rt); \\ \frac{dp_1}{dt} = (\mu f d_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_1) - V F_n}) \frac{E}{W_{01} + F_n y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left( -\mu f d_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} p_2 + V F_s} \right) \frac{E}{W_{02} - F_s y}. \end{cases}$
5		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (-p_1 F_n + p_2 F_s + R - Rt); \\ \frac{dp_1}{dt} = (-\mu \pi d z x z \sqrt{\frac{2}{\rho} p_1 + V F_n}) \frac{E}{W_{01} - F_n y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left( \mu \pi d z x z \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_2) - V F_s} \right) \frac{E}{W_{02} + F_s y}. \end{cases}$
6		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (-p_1 F_n + p_2 F_s + R - Rt); \\ \frac{dp_1}{dt} = (-\mu \pi d z x z \sqrt{\frac{2}{\rho} p_1 + V F_n}) \frac{E}{W_{01} - F_n y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left( \mu f d \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_2) - V F_s} \right) \frac{E}{W_{02} + F_s y}. \end{cases}$

Продолжение таблицы 2

7		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (-p_1 F_n + p_2 F_s + R - R_t); \\ \frac{dp_1}{dt} = (-\mu f d \sqrt{\frac{2}{\rho} p_1 + V F_n}) \frac{E}{W_{01} - F_n y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left( \pi d z x z \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_2) - V F_s} \right) \frac{E}{W_{02} + F_s y}. \end{cases}$
8		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (-p_1 F_n + p_2 F_s + R - R_t); \\ \frac{dp_1}{dt} = (-\mu f d_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} p_1 + V F_n}) \frac{E}{W_{01} - F_n y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left( \mu f d_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_2) - V F_s} \right) \frac{E}{W_{02} + F_s y}. \end{cases}$

**Выводы.** 1. Все многообразие гидравлических дроссельных приводов с горизонтальным ГЦ можно свести к восьми типовым гидравлическим модулям в зависимости от направления движения штока и наличия дросселя (или регулятора расхода) и расположения его в напорной или сливной магистралях.

2. Для описания рабочего процесса гидравлических приводов используются основные виды уравнений: неразрывности; движения подвижных элементов; расходов жидкости через аппаратуру.

3. Приведены математические модели восьми основных гидравлических модулей с горизонтальным ГЦ.

**Список литературы:** 1. *Иваницкая Е.П.* К вопросу о типизации гидравлических приводов // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2009. – № 4 / 10 (40). С. 37 - 40.

2. *Иваницкая Е.П.* Математические модели гидравлических модулей с вертикальным гидравлическим цилиндром // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2009. – № 5 / 6 (41). С. 38 - 41. 3. *Лур'є З.Я., Іваніцька О.П.* Моделювання та динаміка гідрравлічних систем.: Навчальний посібник. – Харків.: ХДПУ, 2000. – 132 с.

Поступила в редколлегию 15.04.10